Nr. 3—4. Warszawa, dnia 25 kwietnia 1933 r. Rok VII

KOTŁOWNIA I SALA MASZYN

ORGAN STOWARZYSZENIA DOZORU KOTŁÓW W WARSZAWIE

Adres Redakcji i Administracji: Warszawa, Piusa XI 32, m. 12. Tel. 881-47.

Redaktor: inż. techn. JAN KOMARNICKI.

O USZKODZENIACH KOTŁÓW I ICH CZĘŚCI SKŁADOWYCH.

Niezwykłe uszkodzenie kotła.

Badanie faktów i wydarzeń, zachodzących w dziedzinie techniki, jest bardzo pouczające, a należyte zdanie sobie sprawy z przyczyny każdego wypadku, uchronić może niejedno przedsiębiorstwo przemysłowe od wypadków podobnych i przykrych ich następstw. To też nie będzie bez znaczenia przytoczenie poniżej niepowszedniego wypadku uszkodzenia kotła, jaki miał miejsce w pewnej instalacji kotłowej w Niemczech a zaczerpniętego z literatury technicznej niemieckiej [1]).

Otóż po obu stronach walczaka wodnorurkowego kotła były umocowane, od zewnątrz, do każdego z jego dwu dzwon kątowniki, służące do oparcia kotła na obmurowaniu. Umocowanie kątowników dokonane było zapomocą śrub o łepkach nitowych (wypukłych), przyczem śruby te przechodziły przez ścianki walczaka nawylot. W czasie pracy kotła jedna z takich śrub pękła z niewiadomych przyczyn w miejscu, gdzie kątownik styka się ze ścianką kotła, i naturalnie oblu-

[1]) Por. Zeitschrift d. Bayerischen Revisions-Vereins, 1931.

zowała się, wskutek czego rowkami gwintu mogła wydostawać się nazewnątrz woda z pracującego pod ciśnieniem 15 *atn* kotła. Strumień wody, uderzając o tylną ściankę kątownika, rozpryskiwał się w różnych kierunkach, żłobiąc bruzdy w blasze kotłowej i zeszlifowując cztery łepki nitów przyległego szwu cylindrycznego. Wzmiankowane bruzdy przenikały do połowy grubości blachy kotłowej, przyczem szerokość ich dochodziła do 20-tu, a długość do 200 *mm*; jedna z główek nitów była zeszlifowana całkowicie, obnażając rdzeń nita.

Uszkodzenie to zostało zauważone dopiero po odstawieniu kotła od pracy, której okres, obejmujący rozwój opisanego uszkodzenia, trwał zaledwie 480 godzin.

Naprawa uszkodzenia polegała na zapojeniu bruzd w blachach kotłowych zapomocą spawania elektrycznego i na wymianie wspomnianych wyżej czterech nitów.

Dla zabezpieczenia się od podobnego wypadku na przyszłość łepki śrub, mocujących kątowniki do walczaka, zostały przypojone do blach tegoż walczaka od strony wewnętrznej. Po uskutecznieniu tej naprawy kocioł został ponownie oddany do ruchu.

Z powyższego opisu wydarzenia należy wyciągnąć wniosek, że zastosowana w danym wypadku umocowanie kątowników śrubami, przechodzącemi nawylot przez blachy kotłowe, nie jest celowe, i że konstrukcję opór kotłowych należałoby zmienić zasadniczo na inną, pozwalając uniknąć takiego mocowania.

Uszkodzenia przegrzewaczy.

Przejście do wysokich ciśnień kotłowych wytworzyło obok innych trudności eksploatacyjnych — warunki, sprzyjające niedomaganiom i poważniejszym uszkodzeniom przegrzewaczy. Przyczyna tego objawu spoczywa niewątpliwie w wysokiem przegrzewaniu pary, towarzyszącem wysokim ciśnieniom Materjał, stosowany dotychczas do wyrobu rurek, nie jest już odpowiedni dla wysokich temperatur kotłowych nowoczesnych instalacyj, które dochodzą do 450° C. Wskutek zbyt małej odporności tego materjału na ciepło i na wysokie natężenie przewodnictwa, ścianki rur podlegają silnemu przegrzaniu i wydęciom. To też wysiłki techniki skierowane

są ku ominięciu powstałych trudności przez zastosowanie materjałów odpowiedniejszych — złożonych (stopowych), któreby posiadały dostateczną odporność na przegrzanie.

Tak się mają rzeczy przy instalacjach o wysokich ciśnieniach kotłowych, ale i przy instalacjach zwykłych, które nie mogą być zaliczone do wysokoprężnych, zdarzają się niejednokrotnie poważniejsze uszkodzenia przegrzewaczy.

Niżej podajemy trzy przypadki takich uszkodzeń, które zaszły w dwóch różnych instalacjach tego samego rodzaju.

Jedno z tych uszkodzeń zostało ujawnione w trójwalczakowym kotle wodnorurkowym o stromym układzie opłomek. Oto ważniejsze liczby, charakteryzujące ten kocioł: powierzchnia ogrzewalna 450 m^2, powierzchnia przegrzewacza 166 m^2, najwyższe ciśnienie robocze kotła 32 *atn*, temperatura przegrzania 380° C. Kocioł posiada podgrzewacz wody z zastosowaniem gazów spalinowych, jako źródła ciepła, oraz podgrzewacz powietrza. Ruszt jest ruchomy z dolnym wdmuchem powietrza. Jako paliwa używa się węgla, mianowicie orzecha górnobawarskiego, o dolnej wartości opałowej około 4800 — 5700 ciepłostek — z zawartością siarki 4 — 6 %.

Wiązka rur przegrzewacza zawieszona jest pomiędzy obu górnemi walczakami. Para wchodzi do przegrzewacza u tylnej komory zbiorowej i płynie w nim w kierunku przeciwnym prądowi spalin ku przedniej komorze zbiorczej.

Kierownictwo ruchu podtrzymuje na ruszcie w niedzielę ogień jałowy, chociaż kocioł nie pracuje, t. j. nie wydaje pary dla ruchu maszyn.

W pewnym momencie podczas pracy kotła pękł zwój zewnętrzny przegrzewacza w jego prostej części od strony wlotu pary; zwój ten położony był w skrajnym prawym rzędzie wiazki rur przegrzewacza i widoczny jest ze stanowiska palacza. W bezpośredniem sąsiedztwie z tym rzędem rur pozostawała ścianka obmurowania kotła.

Miejsce pęknięcia pokazane jest na rys. 1. Rura w tem miejscu jest silnie wydęta, a brzegi szczeliny są cienkie wskutek rozciągnięcia materjału ścianki. Na zewnętrznej stronie rura jest silnie opałona, przyczem warstwa spalona jest twarda i pokryta warstewką silnie spieczonego popiołu. Wewnątrz powierzchnia rury pokryta jest łuską zendry koloru czerwono-czarnego.

W pewnej odległości od miejsca pęknięcia zendra obłożona została powierzchu cienką białą warstewką, uznaną na podstawie dokonanej analizy za zanieczyszczenie, które do przegrzewacza przedostało się wraz z parą z kotła. Tuż obok samego pęknięcia takiego osadu nie było. Budowa materjału u brzegów powstałej przy pęknięciu szczeliny pozwala przypuszczać, że rozerwanie nastąpiło przy temperaturze około 700—800° C.



Rys. 1

W tych granicach temperatury wytrzymałość materjału rur jest już tak niska, że ciśnienia 32 atn w zupełności wystarcza dla spowodowania wydęcia, które stopniowo zwiększając się i odpowiednio osłabiając ściankę rury, mogło wreszcie wywołać pęknięcie w najsłabszem miejscu rury.



Rys. 2

O tem, że działanie nadmiernej zwyżki temperatury rozprzestrzeniało się na większy kawałek rury, można było wywnioskować ze stopniowego zwiększania się zewnętrznych wymiarów rury i z coraz większego zmniejszania się grubości ściaki rury w kierunku powstałego pęknięcia.

Przyczyny tego wzrostu temperatury nie można upatrywać, jak wskazały badania, ani we właściwościach materjału, ani też w osadach na wewnętrznej stronie rury.

Wyjaśnienie uszkodzenia daje natomiast zbadanie warunków prowadzenia ognia w palenisku. Spalanie na ruszcie długopłomiennego górnobawarskiego orzecha powoduje całkowite przenikanie przegrzewacza przez płomień. Skutkiem tego silnie nagrzewa się tak materjał samego przegrzewacza, jak i ściany otaczającego go obmurowania.

Ponieważ uszkodzenie rury nastąpiło w zwoju, sąsiadującym z obmurowaniem, należy przypuszczać, że ciepło, promieniujące z rozpalonej ścianki muru, nagrzało do czerwoności omawianą rurę w dniu świątecznym, kiedy kocioł pozostawał w bezczynności.



Rys. 3

W tym okresie czasu ścianki rur nie były chłodzone przepływającą parą, gdyż para w nich znajdowała się w bezruchu. Utlenianie się ścianek rury na zewnętrznej i wewnętrznej stronie, towarzyszące procesowi silnego ich żarzenia, przyśpieszyło w znacznym stopniu pęknięcie rury.

U podobnego kotła ujawnione zostało jeszcze inne uszkodzenie przegrzewacza. Również w najskrajniejszym prawostronnym rzędzie rur (widocznym ze stanowiska palacza) pękł środkowy zwój na przednim dolnym zagięciu (kolanku). Rysunek 2 przedstawia ogólny widok rozerwanego kawałka rury, a rys. 3—to samo w przekroju.

Na zewnętrznej stronie omawiany kawałek rury jest silnie opalony. Ścianki rury w jednem miejscu zostały osłabione w poszczególnych rozsianych na pewnej przestrzeni

punktach do grubości papieru. Wreszcie miejsce to bez żadnego uprzedniego wydęcia pękło.

Wewnętrzna strona rury, zwłaszcza w pobliżu szpary, była powleczona grubą czarną warstwą tlenku żelazawo-żelazowego ($Fe_3 O_4$). Obecność tego tlenku wskazuje na to, że materjał rury wskutek rozkładu pary uległ utlenieniu według następującego wzoru chemicznego:



$$3 Fe_2 + 8 H_2 O = 2 Fe_3 O_4 + 8 H_2$$

Rozkład pary przewidywać można tylko przy bardzo małej szybkości jej przepływu.

Brak wydęcia w uszkodzonem miejscu pozwala wnosić, że ścianki nie podlegały działaniu nadmiernych temperatur.

Trzecie uszkodzenie przegrzewacza miało miejsce również w trójwalczakowym kotle wodnorurkowym o stromych rurkach, lecz posiadającym powierzchnię ogrzewalną, wynoszącą 350 m^2, powierzchnię przegrzewacza 100 m^2, przepisane najwyższe ciśnienie robocze 35 *atn* i temperaturę przegrze-



Rys. 4

wu — 420° C. Kocioł zaopatrzony był w podgrzewacz wody na gazy spalinowe w kształcie rury żeberkowej oraz podgrzewacz powietrza.



Rys. 5

grzewacz powietrza. Spalanie odbywało się na Martin'owskim ruszcie ruchomym o suwie zwrotnym, który pozwala na spa-

lanie najgorszych gatunków węgla, nie posiadających popytu na rynku.

Podzielona na sekcje wiązka rur przegrzewacza zawieszona jest również i u tego kotła pomiędzy jego dwoma górnemi walczakami. Wlot pary następuje do jednej z przednich komór zbiorczych, wylot zaś do jednej z tylnych komór.

Uszkodzenie rury nastąpiło na przedniem odgałęzieniu jednego z zewnętrznych zwojów rur. Zniekształcenie rury (wydęcie) i samo miejsce pęknięcia pokazane są na rys. 4 i 5.



Rys. 6

Rys. 6 przedstawia wewnętrzną stronę ścianki rury w pobliżu pęknięcia.

Powierzchnia ścianki pokryta tu jest grubą czarną warstwą opalenizny, miejscami w kierunku podłużnym popękanej.

W miejscach tych znajdują się właśnie nadpęknięcia, przenikające głęboko w samą ściankę rury.

Budowa materjału w takiej szczelinie przedstawiona jest na rys. 7.

Tworzące ją powierzchnie, nachylone względem siebie pod kątem ostrym, pokryte są warstwą zendry. Na samem dnie szczeliny zendry niema. Kryształki ferrytu na wskazazanych granicach szczeliny wykazują lekkie wydłużenie.

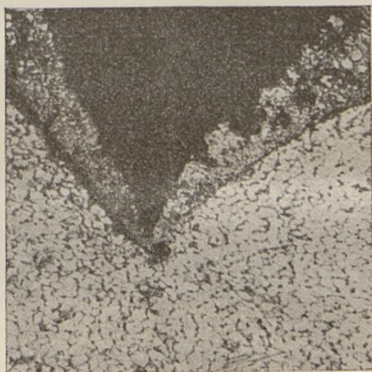
Przyczyny tego uszkodzenia rury należy upatrywać w korozji, spowodowanej rozkładem pary.

W warstwie opalenizny (zendry), powstałej wskutek korozyjnego działania pary na wewnętrznej powierzchni ścianki rury potworzyły się ryski w kierunku osi rury. Na obnażonych w ten sposób wąskich paskach tejże powierzchni tworzyły się korozje na nowo. Tak powstawały stopniowo

głębokie szczeliny o ostrej podstawie. Do pogłębienia szczelin przyczyniało się również napięcie pracy, co potwierdza chociażby wspomniane wyżej odkształcenie kryształków ferrytu na otwartych pochyłych powierzchniach szczeliny.

Rozerwanie rury nastąpiło właśnie na jednej z takich szczelin (nadpęknięć), która przedtem już osłabiła ściankę rury do grubości 1 *mm*.

Tak silne działanie korozyjne pary mogło wystąpić tylko dzięki zbieżności dwóch wzajemnie uzależnionych okoliczności—bardzo małej szybkości przepływu pary i odpowiednio wysokiej temperatury ścianek rury. Faktem jest również, że przednie dolne kolanko rury było obłożone sodą, porwaną z kotła do przegrzewacza.



Rys. 7

Reasumując wyżej powiedziane, możemy ustalić następujące przyczyny uszkodzeń rur przegrzewaczy:

1) Niepełne spalanie w palenisku części lotnych paliwa i dopalanie się gazów spalinowych w sferze przegrzewacza.

2) Rozżarzanie się do czerwoności materjału rur podczas krótkich przerw w pracy instalacji od ciepła promieniowania rozpalonych ścianek obmurowania, co w następstwie powoduje silne opalanie się materjału rury na zewnętrznej, i na wewnętrznej stronie jej ścianki.

3) Gromadzenie się w przegrzewaczu zanieczyszczeń (osadów), pochodzących z wody kotłowej.

4) Niedostateczna szybkość przepływu pary w przegrzewaczu.

5) Zużywanie się ścianki rury przez utlenianie, powodowane rozkładem pary.

Na podstawie powyższego można polecić następujące środki zapobiegawcze:

1) Przedewszystkiem należy troszczyć się o to, żeby gazy palne (lotne części paliwa) spalały się całkowicie w palenisku. Może to być osiągnięte albo przez powiększenie pojemności paleniska (przesunięcie sklepienia, albo przez zastosowanie powietrza wtórnego.

2) Należy przeszkodzić zbieraniu się w przegrzewaczu porywanych z wody kotłowej osadów i zanieczyszczeń.

3) Należy bacać często, w równych odstępach czasu, czy nie nastąpiło nadmierne zanieczyszczenie wody kotłowej.

4) Ślady piany, powstającej od nadmiernej zawartości zanieczyszczeń w wodzie kotłowej, powinny być skrupulatnie obserwowane na wewnętrznej stronie ścianek walczaków i zbiorników pary w czasie dokonywania rewizyj wewnętrznych kotła, a w czasie, gdy instalacja jest czynną,—w szkle wodoskazowem.

5) Możliwość zbierania się zanieczyszczeń w zwojach rur jest mniejsza przy ich leżącym układzie, wobec tego wiszące przegrzewacze należy wykonywać o zwojach rur poziomych.

6) Ze względu na duże niebezpieczeństwo, mogące powstać od rujnującego działania rozkładu pary przy małych szybkościach jej przepływu, należy przestrzegać, aby szybkość ta w przegrzewaczu była możliwie duża. Osiągnąć to można przez zastosowanie możliwie najmniejszej ilości zwojów rur, któraby jednak wystarczyła dla otrzymania wymaganego przegrzania.

7) Doradza się jeszcze czasem napełnianie przegrzewacza wodą dla chłodzenia go w czasie zarządzonych przerw w ruchu (naprz. w niedziele). Środek ten wydaje się jednak nie bardzo celowym — tak ze względu na mogące powstawać wtedy znaczne osady w przegrzewaczu, jak i ze względu na bezpieczeństwo (możliwość wybuchu).

W każdym razie użyta przy takim systemie woda musiałaby być bardzo czystą i miękką, przyczem należałoby wtedy pamiętać przy ponownem uruchomieniu instalacji o skrupulatnem usunięciu pozostałości tej wody zapomocą przedmuchania przegrzewacza parą, a to dla zabezpieczenia turbin (o ile one służą do napędu) od uderzeń wody.

Wymagania, wypływające z rozpatrzenia wyżej podanych uszkodzeń rur przegrzewaczy, stanowią podstawowe warunki budowy przegrzewaczy i obsługi kotłów.

Z PRAKTYKI DLA PRAKTYKI.

Obliczenie mocy maszyn parowych w przybliżeniu.

Bardzo często w praktyce pożądane bywa określenie mocy maszyny parowej, z dostateczną dla przybliżonej kalkulacji dokładnością i z uniknięciem mozolnych obliczeń arytmetycznych.

Podaję wzory obliczenia, oparte na zasadniczym wzorze:

$$N = \frac{\frac{\pi}{4} d^2 . p_l . s . n.}{75 . 30} \eta_m;$$

z uwzględnieniem stosunku średniej prężności pary w cylindrach do prężności pary w kotle, oraz średniego napełnienia cylindra (w granicach od 0,20 do 0,40 skoku), zależnego od prężności pary wlotowej.

Moc jednocylindrowej maszyny parowej może być określona z wzoru:

$$N = m, d^2, s. p. n. \quad \ldots\ldots \quad (1)$$

gdzie

m — spółczynnik zależny od prężności pary—podany niżej w tabelce,

d — wewnętrzna średnica cylindra w metrach,
s — skok tłoka (podwójna długość korby) w metrach,
p — prężność pary wlotowej w atmosferach (kg/cm^2).
n — ilość obrotów na minutę.
Moc dwucylindrowej maszyny bliźniaczej:

$$N = 2.\ m.\ d^2.\ s.\ p.\ n; \ldots \ldots \quad (2)$$

Moc dwucylindrowej naszyny ze stopniowem rozprężaniem (compound):

$$N = (m_1\ d_1^2 + m_2\ d_2^2)\ s.\ p.\ n; \ldots \ldots \quad (3)$$

gdzie:

m_1 i m_2 spółczynniki dla cylindra wysokoprężnego, i niskoprężnego, (w tabeli niżej);

d_1 i d_2 — wewnętrzne średnice cylindrów — wysokoprężnego i niskoprężnego; pozostałe oznaczenia, jak we wzorze 1-ym.

Tabela spółczynników.

Prężność pary *p*.	Jednocylin. masz.		Dwucylindrowa (Compound)			
	bez kondensacji *m*	z kond. *m*	Bez kondensacji		Z kondensacją	
			m_1	m_2	m_1	m_2
4 — 6 *atn*	1,3	1,5	—	—	—	—
7 — 9 „	1,4	1,6	1,5	0,3	1,6	0,45
10 — 12 „	1,5	1,7	1,6	0,35	1,7	0,5
13 — 15 „	1,6	1,8	1,7	0,4	1,8	0,55

Naprzykład:

Określić w przybliżeniu moc dwucylindrowej maszyny z kondensacją o wymiarach:

Średnica cylindra wysokoprężnego d_1 = 180 *mm*.
Średnica cylindra niskoprężnego . d_2 = 360 *mm*.
Skok tłoka . . . . s = 400 *mm*.
Ilość obrotów . . . . n = 200 na minutę.
Prężność pary w kotle. . . . . p = 12 *atn*

Z wzoru (3) otrzymamy:

$$N = (1{,}7 \,.\, 0{,}18^2 + 0{,}5 \,.\, 0{,}36^2) .\, 0{,}4 \,.\, 12 \,.\, 200 =$$
$$= (0{,}054 + 0{,}061) .\, 960 = 0{,}115 \,.\, 960 \cong 110 \; KM.$$

A. K.

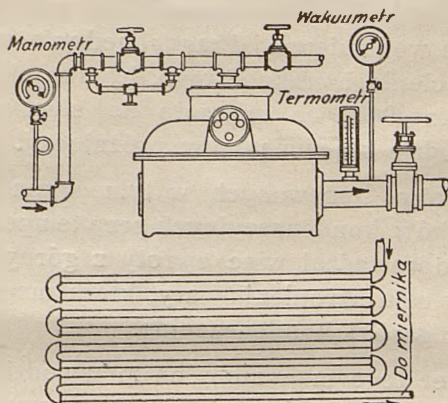
DLACZEGO ILOŚĆ PARY ZMALAŁA.

Kotłownia, która sprzedaje parę grzejną na potrzeby kilku domów okolicznych stwierdziła, że w pewnym miesiącu ogólna ilość rozsprzedanej pary w stosunku do roku poprzedniego spadła. Postanowiono wyjaśnić pochodzenie tej różnicy. Parę sprzedawano na wagę. Za jednostkę uchodziło 1000 *lb* (454 *kg*) według wskazań wodomierzy skroplin. Parę dostarczano pod ciśnieniem 5 *atn*. Próżnia w przewodzie odprowadzającym skropliny do kotłowni wynosiła 10″ (0,41 *ata*). Do zespołu należało 18 domów. Powierzchnia ogrzewalna w każdym z nich wynosiła od 1000′ do 200000′. W mniejszych domach stwierdzono, że do wodomierzy dochodziła para. Domy te posiadały urządzenia ogrzewcze oparte na zasadzie ciążenia. Urządzenia działały sprawnie o ile garnki kondensacyjne były w porządku.

Rys. 1 przedstawia ogólny układ wodomierza i przewodów. Wodomierz typu dwuczerpakowego działa w ten sposób, że jeden z czerpaków zostaje opróżniony podczas wypełniania się drugiego, a każdy obrót odpowiedniego wału liczy osobny licznik. Z rysunku wynika, że w wypadku kilku nieszczelnych garnków kondensacyjnych, nic

nie stoi na przeszkodzie przedostawaniu się do wodomierza pary, której ilość nie może być przytem ustalona.

Dla stwierdzenia, czy para istotnie przedostaje się do miernika odłączono wlot do wodomierza i odpowiedni przewód odprowadzono do atmosfery. Okazało się, że wychodzi tędy czysta para. Właścicieli domów zobowiązano do upo-



Rys. 1

rządkowania garnków kondensacyjnych i wskazania wodomierzy powróciły do normy. Jeden z domów posiadający 16000 st. kw. pow. egrzewalnej posiadał garnki kondensacyjne nie przepuszczające pary. Pomimo to wskazania wodomierza nie odpowiadały tej ilości pary, jakiej należałoby się spodziewać. Jeden z urzędników, podejrzewając niedokładności w rejestrowaniu wskazań wodomierzy, odwiedził wieczorem zakwestjonowaną instalację. Stwierdził on, że wodomierze były zalane wodą i zupełnie jej nie rejestrowały. Powodem tego zjawiska — jak w następstwie ustalono — był zwyczaj zasilania budynku tego parą aż do rozgrzania wszystkich wężownic i grzejników i otrzymania ciepłych zwrotów. Wówczas zamykano zawór na prze-

wodzie powrotnym z wodomierza aż do chwili w której próżniomierz nie wykazał 0,15 lub 0,3 *atn* ciśnienia. W owej chwili otwierano zawór o tyle, by utrzymać to ciśnienie. Manipulacja powyższa zamieniała wodomierz na zwykły zbiornik, który nie mógł spełniać roli wodomierza.

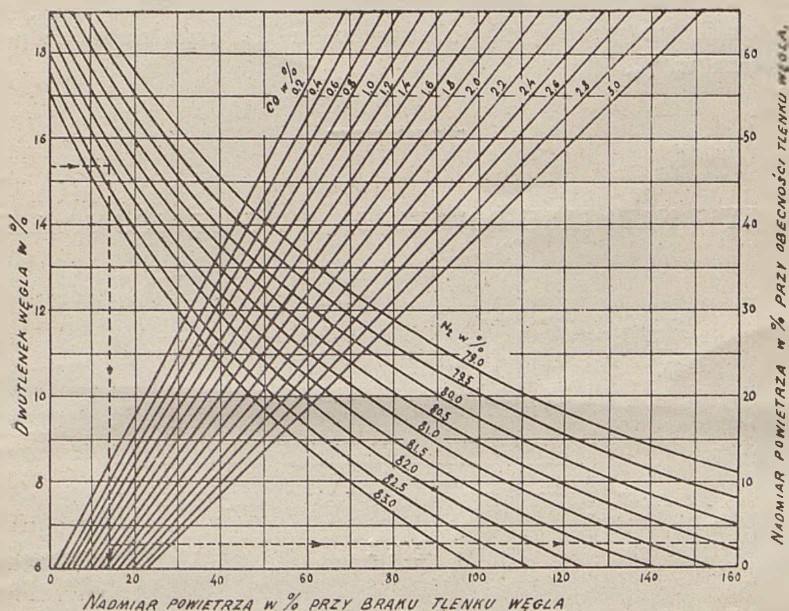
Pracownik dozorujący ogrzewania domu był zdziwiony tem odkryciem. Nie leżało bowiem wcale w jego intencjach unieruchomienie wodomierza. Pragnął jedynie wyzyskać zawarte w parze ciepło i uniknąć tego, by skropliny uchodziły przy temperaturze 90°C, co zmuszało do stosowania zimnej wody w przewodzie ssącym pompy próżniowej.

Typ garnków stosowanych w tym wypadku otwierał dostęp do garnków kondensacyjnych przy temperaturze 98°C. Człowiek ten odprowadzał więc zwroty z górnych pięter na piętro niższe w celu skroplenia pary, która mogła się przedostawać przez garnki kondensacyjne.

Ustawiono wobec tego manometr na przewodzie powrotnym przed wodomierzem i głównym zaworem zwrotnym, który zamykano w chwili, gdy temperatura w domu doszła do potrzebnej wysokości. Manometr ten uprzedzał o zalaniu wodomierza. Następnie ustawiono ½" przewód obwodowy wokoło głównego zaworu, aby zmniejszyć szybkość wody dopływającej do wodomierza. Dom zużywa 163 *kg* pary na 1 *st. kw.* powierzchni ogrzewanej na sezon. Temperatura niektórych pięter zajętych na farbiarnie dochodzi do 27° C. Termometr na przewodzie powrotnym służy do doprowadzenia skroplin do 70° C. i nawet niżej przy niezbyt zimnej pogodzie.

NADMIAR POWIETRZA.

Wykres (rys. 1) podaje nadmiar powietrza w gazach spalinowych na podstawie zawartości CO_2, O_2, CO i N_2



Rys. 1

określonych przy pomocy Orsata lub t. p. aparatu.

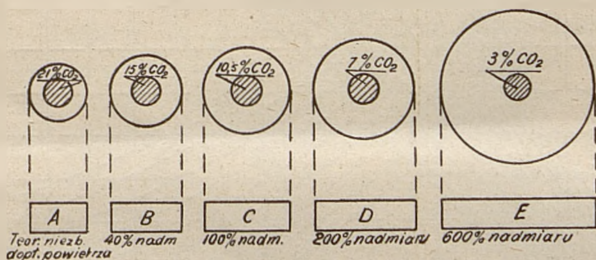
Wykres zbudowany został na zasadzie wzoru:
Nadmiar powietrza:

$$= \frac{N_2}{N_2 - 3,78\,(O_2 - \frac{1}{2}\,CO)} - 1,00$$

Wykres stosować należy w sposób następujący. Zaczynamy od lewej strony od $\%$ zawartości CO_2 i prowadzimy

poziomą do właściwej krzywej N_2. Stąd o ile gazy nie zawierają CO, prowadzimy pionową do osi odciętych i odczytujemy odnośny nadmiar powietrza w %. Jeżeli gazy zawierają CO, linię pionową kończymy na właściwej krzywej CO i od tego miejsca prowadzimy poziomą, która na przecięciu ze skalą po prawej stronie wykresu da nam nadmiar powietrza w %.

WPŁYW NADMIARU POWIETRZA NA OBJĘTOŚĆ SPALIN.



Rys. 1

Powyższy rysunek przedstawia w jakim stopniu wraz z nadmiarem powietrza wzrasta objętość spalin i równolegle spada zawartość dwutlenku węgla (CO_2) w spalinach.



Druk. Kooper. Pracown. Druk. Warszawa, Zielna 47, tel. 619-57.